

## Использование процесса проращивания для повышения антиоксидантных свойств сырья

Н. В. Науменко<sup>1</sup>✉, Р. И. Фаткуллин<sup>1</sup>, О. П. Неверова<sup>2</sup>, И. В. Калинина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: Naumenkonv@susu.ru

**Аннотация.** Разработка технологии контролируемого проращивания зерна и сырьевых ингредиентов на их основе, а также адаптация методов и подходов для каждой отдельной культуры является одним из перспективных направлений в разработке линейки пищевой продукции, отвечающей всем требованиям современного населения. **Новизна исследований** заключается в использовании кратковременного температурного воздействия в качестве обеззараживающего этапа перед процессом проращивания зерна ячменя и формировании доказательной базы, что данный тип воздействия не оказывает негативного влияния на проведение остальных технологических этапов. **Цель** исследования – изучение возможности использования зерна ячменя в технологии проращивания для дальнейшего получения сырьевых ингредиентов с повышенными антиоксидантными свойствами. **Методы исследований.** В качестве объектов исследования было определено зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) урожая 2019–2022 гг. Получение пророщенного зерна включало отдельные технологические этапы: обеззараживание (кратковременное воздействие высоких температур), замачивание (в воде при  $20 \pm 2$  °С в течение 20 часов) и проращивание (в камере с температурой  $22 \pm 2$  °С и влажностью воздуха  $95 \pm 3$  % с диапазоном времени 12–48 часов). Стандартными методами оценивали органолептические показатели, влажность, натуру, массовую долю белка, способность и энергию проращивания, а также микробиологические показатели. Для выбора оптимальной продолжительности проращивания контролировалось общее содержание флавоноидов, полифенолов и антиоксидантная активность. **Результаты.** В результате проведенных исследований установлено, что использование кратковременного термического воздействия температура 190 °С и продолжительность 10 с позволяют минимизировать риски активации развития присутствующей микрофлоры зерна ячменя. Использование предлагаемых подходов при проведении технологического этапа проращивания позволило выявить оптимальную длительность процесса – 36 часов, что приводит к увеличению общей антиоксидантной активности с средним на 46 %, содержания флавоноидов на 560 % и полифенолов на 145 %.

**Ключевые слова:** зерно ячменя, обеззараживание, проращивание, растительные сырьевые ингредиенты

**Для цитирования:** Науменко Н. В., Фаткуллин Р. И., Неверова О. П., Калинина И. В. Использование процесса проращивания для повышения антиоксидантных свойств сырья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 197–206. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-197-206>.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, номер проекта 23-26-00290.

**Дата поступления статьи:** 07.11.2023, **дата рецензирования:** 12.11.2023, **дата принятия:** 25.12.2023.

## Using the germination process to increase the antioxidant properties of raw materials

N. V. Naumenko<sup>1</sup>✉, R. I. Fatkullin<sup>1</sup>, O. P. Neverova<sup>2</sup>, I. V. Kalinina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: Naumenkonv@susu.ru

**Abstract.** The development of technology for controlled germination of grains and raw ingredients based on them, as well as the adaptation of methods and approaches for each individual crop, is one of the promising areas in the development of a line of food products that meets all the requirements of the modern population. The novelty of the research lies in the use of short-term temperature exposure as a disinfecting step before the process of germination of barley grain and the formation of an evidence base that this type of exposure does not have a negative impact on the remaining technological stages. **The purpose of the study** was to study the possibility of using barley grain in germination technology for the further production of raw ingredients with increased antioxidant properties. **Research methods.** The objects of study were barley grain (*Hordeum vulgare L.*), harvested from 2019 to 2022. The production of sprouted grain included separate technological stages: disinfection (short-term exposure to high temperatures), soaking (in water at  $20 \pm 2$  °C for 20 hours) and germination (in a chamber with a temperature of  $22 \pm 2$  °C and air humidity  $95 \pm 3$  %, with a time range of 12–48 hours). Standard methods were used to evaluate: organoleptic indicators, humidity, nature, mass fraction of protein, ability and energy of germination, as well as microbiological indicators. To select the optimal duration of germination, the total content of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity was controlled. **Results.** As a result of the studies, it was established that the use of short-term thermal exposure at a temperature of 190 °C and a duration of 10 s allows minimizing the risks of activating the development of the present microflora of barley grain. Using the proposed approaches, when carrying out the technological stage of germination, it was possible to identify the optimal duration of the process – 36 hours, which leads to an increase in total antioxidant activity by an average of 46 %, flavonoid content by 560 % and polyphenols by 145 %.

**Keywords:** barley grain, disinfection, germination, vegetable raw ingredients

**For citation:** Naumenko N. V., Fatkullin R. I., Neverova O. P., Kalinina I. V. Using the germination process to increase the antioxidant properties of raw materials. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 197–206. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-197-206>. (In Russ.)

**Acknowledgements.** The research was carried out with financial support from the Russian Science Foundation, project number 23-26-00290.

**Date of paper submission:** 07.11.2023, **date of review:** 12.11.2023, **date of acceptance:** 25.12.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время увеличение количества населения и изменение его образа жизни подталкивают производителей к внедрению инновационных подходов при изменении как сырьевого состава, так и технологии конечных продуктов питания. Для получения качественных изделий повышенной пищевой ценности необходима разработка сырьевых ингредиентов, способных обогащать конечные продукты белками, пищевыми волокнами и биологически активными соединениями, при этом органолептические показатели разработанной линейки продукции должны иметь характеристики выше традиционных [1]. В процессе проращивания происходят сложные физические и метаболические процессы, которые можно сгруппировать в три этапа: гидрата-

ция зерна, активация его эндогенного метаболизма и мобилизация резервного материала [2].

По достижении необходимого значения массовой доли влаги (35–37 %) в зерне инициируется синтез и/или высвобождение растительных гормонов, вызывающих высвобождение деградирующих ферментов (амилазы, протеаз и липаз). В результате наблюдается увеличение содержания свободных аминокислот,  $\gamma$ -аминомасляной кислоты, общего содержания фенолов и, как следствие, антиоксидантной активности, происходит снижение количества антипитательных компонентов (например, фитиновой кислоты), а также отмечается увеличение биодоступности минеральных веществ [3].

В результатах научных исследований, представленных в открытой печати, исследователи отмеча-

ют, что регулярное употребление продуктов, в состав которых входят сырьевые ингредиенты из пророщенного зерна, способствует снижению уровня холестерина в сыворотке крови, артериального давления, уровня глюкозы в крови, инсулина, увеличению абсорбции Zn и Fe и содержания короткоцепочечных жирных кислот в кишечнике [4–7].

На сегодняшний день законодательство РФ только формирует законодательную базу в области создания сырьевых ингредиентов из пророщенных зерновых культур, тогда как в мировой практике можно выделить ряд нормативных документов, регламентирующих качество и безопасность данного вида сырья: ЕС № 208/2013, ЕС № 209/2013, ЕС № 210/2013 [8]. Получение сырьевых ингредиентов из пророщенного зерна требует детальной проработки как на законодательном уровне, так и на технологическом.

Несмотря на то что в литературе представлено большое количество исследований [9], подтверждающих перспективность создания пищевых продуктов с пророщенным зерном, на сегодняшний день большая их часть не соответствует концепции инновационных технологий XXI века не только из-за органолептических и технологических аспектов, но и главным образом из-за отсутствия гарантии их безопасности. Процесс проращивания способен активировать патогенную микрофлору и запустить ряд процессов, приводящих к накоплению микотоксинов, что делает сырьевые ингредиенты непригодными для употребления в пищу. Поэтому первичным вопросом в разработке технологии проращивания должно быть обеспечение его безопасности на основе физических способов воздействия и контроля технологических этапов.

Зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) является одной из старейших культивируемых культур в мире и может внести весомый вклад в формирование мировой агропродовольственной устойчивости системы, что определено Целями в области устойчивого развития (ЦУР) до 2030 г. благодаря хорошей способности культуры адаптироваться к неблагоприятным климатическим условиям, таким как холод, засуха или обеднение почвы. Эта концепция особенно актуальна, если учитывать местные и адаптированные сорта зерновой культуры, которые имеют решающее значение для формирования устойчивости агроэкосистем, особенно в условиях современных глобальных изменений [10]. Кроме того, рядом работ [11], представленных в открытой печати, подчеркивается, что на протяжении многих лет потребление сырьевых ингредиентов из цельнозернового ячменя и его компонентов было связано со снижением риска развития ряда хронических заболеваний, включая сердечно-сосудистые заболевания, метаболический синдром и некоторые формы рака. Тем не менее, несмотря на свой производственный

потенциал и возможность оказывать положительное влияние на организм человека в долгосрочной перспективе, большая часть производимого зерна ячменя используется на корм животным или для производства солода, тогда как только 10–15 % – непосредственно для потребления в пищу населения [12]. На сегодняшний день пищевая промышленность сталкивается с необходимостью разработки новых сырьевых ингредиентов и пищевых продуктов на основе зерна ячменя, которые были бы одновременно полезными и вкусными, что обуславливает актуальность представленного исследования.

Целью исследования было определено изучение возможности использования зерна ячменя в технологии проращивания для дальнейшего получения сырьевых ингредиентов с повышенными антиоксидантными свойствами.

#### Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объектов исследования было определено зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) урожая 2019–2022 гг., выращенное в Уральском регионе России.

Получение качественного растительного сырьевого ингредиента с применением процесса контролируемого проращивания зерна предполагало отдельные технологические этапы: обеззараживание, замачивание и проращивание.

*Обеззараживание* осуществляли на сухое зерно ячменя с использованием кратковременного воздействия высоких температур в сушильном шкафу СН-360Т, при экспозиции длительности воздействия 5, 10 и 5 секунд в диапазоне температур 120–190 °С.

Для удаления продуктов загрязнения и посторонних веществ зерно предварительно промывали в проточной воде при  $20 \pm 2$  °С в пятикратной повторности.

*Замачивание зерна* проводили в дистиллированной воде при  $20 \pm 2$  °С в течение 20 часов без доступа световых лучей.

*Проращивание зерна* проводили в камере с контролируемой температурой  $22 \pm 2$  °С и влажностью воздуха  $95 \pm 3$  %. Проросшее зерно удалялось из камеры по достижении величины роста 1,5–2 мм более чем у 90 % зерен, время проращивания составляло от 12 до 48 часов. Далее зерно высушивалось до влажности 11–12 % и измельчалось в цельнозерновую муку с гранулометрическим составом от 53 до 209 мкм, которая (как сырьевой ингредиент) в дальнейшем может быть использована при получении пищевых продуктов.

Оценку качества зерна ячменя проводили согласно ГОСТ 28672-2019, органолептические показатели – ГОСТ 10967, влажность – ГОСТ 13586.5-2015, натуру – ГОСТ 10840-2017.

Микробиологические показатели определялись согласно ГОСТ 10444.15-94 (количество мезофиль-

ных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ)), ГОСТ 31747-2012 (бактерии группы кишечных палочек (колиформных бактерий)), ГОСТ 10444.12-2013 (плесневые грибы и дрожжи). Наличие плесневой микрофлоры и продуктов их метаболизма (афлатоксин В1) оценивали по методу ААСС 45-15.01 [10].

На этапе проращивания зерна определяли способность и энергию прорастания согласно ГОСТ 10968-88.

Для выбора оптимальной продолжительности проращивания контролировались следующие показатели:

- массовая доля белка (%) согласно ГОСТ 10846-91;
- общее содержание флавоноидов в пересчете на кверцетин (мг-экв. (EQ) / 100 г) спектрофотометрическим методом с использованием раствора хлорида алюминия;
- антиоксидантная активность (% DPPH) спектрофотометрическим методом с использованием реактива DPPH;
- общее содержание полифенолов в пересчете на галловую кислоту (мг-экв. (EQ) / 100 г) спектрофотометрическим с использованием реактива Фолина – Чакольеу [11].

### Результаты (Results)

Залогом успешности протекания процесса проращивания, получения безопасных и качественных сырьевых ингредиентов является использование качественного сырья. Входной контроль качества зерна ячменя проводился по расширенной номенклатуре показателей и представлен в таблице 1.

Результаты входного контроля позволяют сказать, что используемое в исследовании зерновое сырье соответствует всем требованиям нормативной документации. Значения натуре находятся в диапазоне 555–589 г/л, что соответствует II–III классу, также отмечаются не высокие значения массовой доли белка. Для проведения исследований и разработки технологии проращивания использовали зерно заведомо низкой классовой для соблюдения экономической эффективности разработки. Для микробиологических показателей характерны минимальные значения, что подтверждает безопасность используемого сырья.

Однако при проведении процессов замачивания и проращивания наибольшую опасность представляют плесневые грибы рода *Aspergillus*, приспособленные к жизни в условиях низкой влажности и активизирующиеся при ее повышении, что является наиболее опасным при производстве продуктов из пророщенного сырья.

Таблица 1

**Входной контроль качества зерна ячменя, используемого для проращивания**

Наименование показателя	Характеристика исследуемого зерна ячменя
Запах	Свойственный здоровому зерну ячменя
Цвет	Светло-желтый
Состояние	Здоровое, негреющееся зерно
Натура, г/л	555–589
Влажность, %	11,2–12,9
Массовая доля белка, %	11,0–11,6
КМАФАнМ, КОЕ/г	$5,5 \times 10^2$
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 0,1 г
Плесневые грибы, КОЕ/г	15
Дрожжи, КОЕ/г	Менее 10

Table 1

**Incoming quality control of barley grain used for germination**

Indicator name	Characteristics of the studied barley grain
Smell	Characteristic of healthy barley grain
Color	Light yellow
State	Healthy, non-warming grane
Nature, g/l	555 – 589
Humidity, %	11.2 – 12.9
Mass fraction of protein, %	11.0 – 11.6
QMAFAnM, CFU/g	$5.5 \times 10^2$
Coliforms (coliforms)	Not detected in 0.1 g
Molds, CFU/g	15
Yeast, CFU/g	Less than 10



Известно, что плесневые грибы рода *Aspergillus* погибают при высокотемпературной обработке в течение длительного времени: при 100 °С. Большинство микроорганизмов присутствуют в околоплоднике зерна, и только несколько видов могут находиться во внутренней части злаков, в основном проникновение происходит через зародыш или в результате механических повреждений. Для исключения активации развития присутствующей микрофлоры был предложен способ кратковременного теплового воздействия при экспозиции длительности 5, 10 и 5 с в диапазоне температур 120–190 °С.

Для качественного определения наличия плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus*, которые являются основными продуцентами афлотоксина В, пробы зерна помещали в провокационные усло-

вия и проводили мониторинг флуоресценции под воздействием ультрафиолетового света (365 нм) на наличие желто-зеленого свечения, обусловленного взаимодействием плесневых грибов с ферментом пероксидазой [13]. Наиболее характерные результаты исследования, согласно методу ААСС 45-15.01, представлены на рис. 1.

При мониторинге флуоресценции в контрольном и опытном образцах (5 с воздействия при температуре 120 °С) уже через 48 часов наблюдалось желто-зеленое свечение, примерно у 25 и 20 % зерен соответственно. Через 120–144 часа во всех образцах, обработанных при температуре 120 °С наблюдалось наличие характерной люминесценции, что может свидетельствовать о накоплении плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus*.

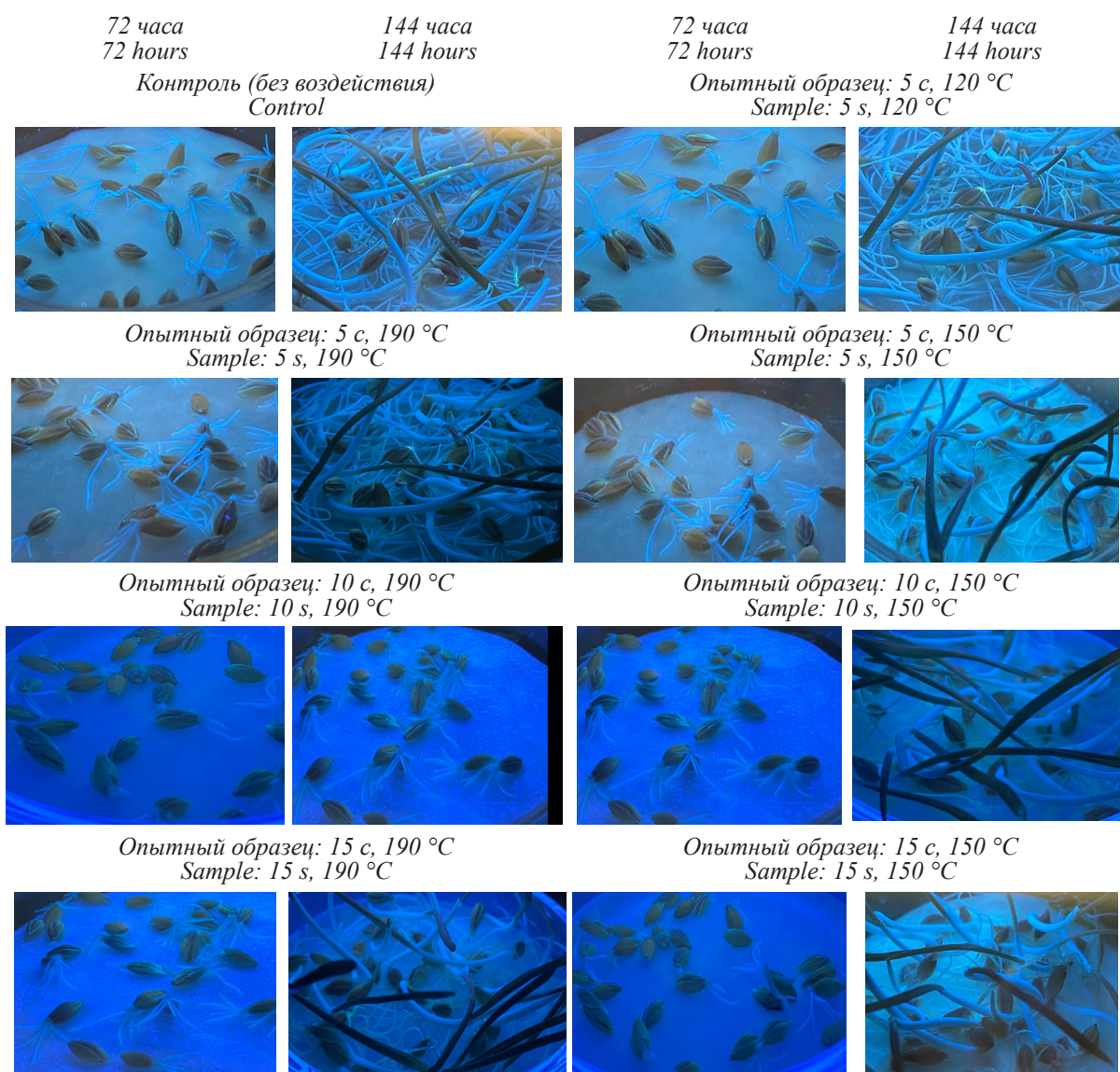
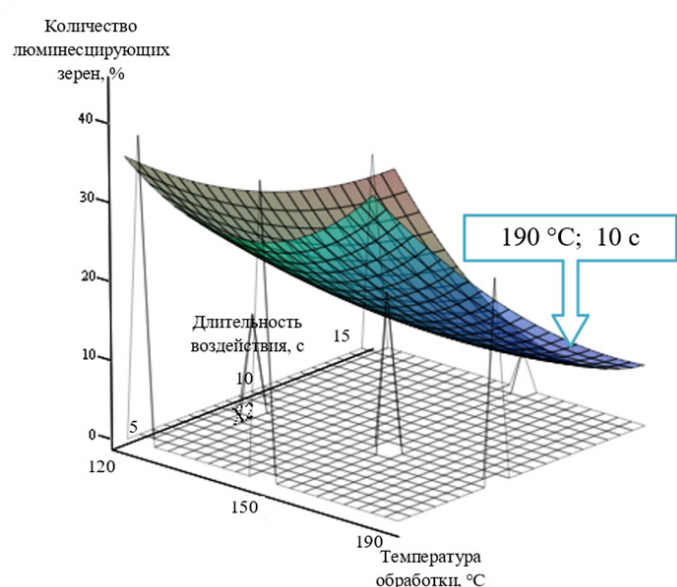
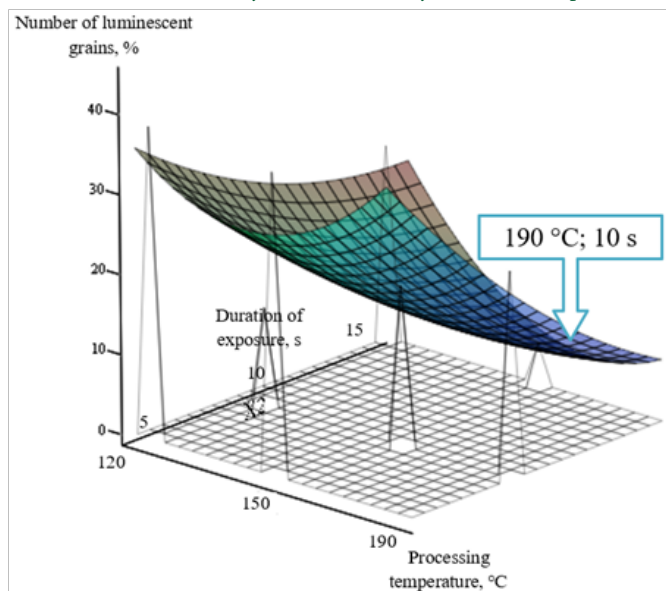


Рис. 1. Характерные результаты флуоресценции образцов зерна ячменя, по методу ААСС 45-15.01  
Fig. 1. Typical results of fluorescence of barley grain samples, according to the AACC 45-15.01 method



$$Y_1 = 0,147 \cdot X_1^2 - 6,746 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 0,029 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,372 \cdot X_1 - 2,192 \cdot X_2 - 2,863$$

Рис. 2. Результаты математической обработки и полученного уравнения регрессии полученных экспериментальных данных по поиску оптимальных условий обеззараживания зерна ячменя



$$Y_1 = 0,147 \cdot X_1^2 - 6,746 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 0,029 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,372 \cdot X_1 - 2,192 \cdot X_2 - 2,863$$

Fig. 2. Results of mathematical processing and the resulting regression equation of the experimental data obtained to search for optimal conditions for the disinfection of barley grain

В ходе проведения исследований, было установлено, что такая тепловая обработка не выше 120–150 °C оказывает обеззараживающий эффект только при продолжительности нагрева не менее 10 с. Температурное воздействие 150 °C также позволяет частично снизить количество люминесцирующих зерен и через 72 часа выдерживания в провокационных условиях, можно отметить лишь отдельные единицы зерна, имеющие желто-зеленое свечение, тогда как к 144 часам провокации их количество составляет 15–20 %. Присутствие даже такого значения люминесценции может свидетельствовать об очаговом накоплении плесневых грибов *A. flavus* или *A. Parasiticus*, что может распространиться на весь получаемый сырьевой ингредиент и сде-

лать его потенциально опасным. Кратковременное температурное воздействие 190 °C позволяет максимально снизить количество люминесцирующих зерен и исключить их появление через 72 часа выдерживания в провокационных условиях. Такие параметры воздействия эффективны даже через 144 часа выдерживания зерна в провокационных условиях, что подтверждают результаты, представленные на рис. 1, где видно отсутствие характерной люминесценции.

На основании полученного массива данных была проведена математическая обработка результатов с применением программного продукта Mathcad 16, представленная на рис. 2, и определены наиболее эффективные параметры воздействия.

Таким образом, для обеззараживания зерна ячменя и получения опытного образца был выбран следующий режим тепловой обработки: температура 190 °С и продолжительность 10 с.

На данном этапе исследований было необходимо оценить влияние температуры на интенсивность протекания процессов проращивания зерна ячменя (рис. 3), так как рядом авторов отмечается [14; 15], что длительные воздействия температуры выше 70 °С могут приводить к денатурации белка и гибели зародыша, тогда как кратковременное их воздействие ранее изучено не было.

На основании полученных данных можно сказать о том, что кратковременная тепловая обработка горячим воздухом с температурой 190 °С в течение 10 с не оказывает практически никакого влияния на величину показателей «Энергия прорастания» и «Способность прорастания». Так, у контрольного образца зерна ячменя (без температурного воздействия) значения вышеуказанных показателей состав-

ляют  $(82,2 \pm 1,3) \%$  и  $(86,5 \pm 1,6) \%$  соответственно. Для опытного образца зерна ячменя (оптимизированного по режимам кратковременной тепловой обработки: температура 190 °С и продолжительность 10 с) значения показателя «Энергия прорастания» варьируется в диапазоне  $(83,2 \pm 1,1) \%$ , а показателя «Способность прорастания» –  $(84,8 \pm 1,7) \%$ . Все полученные результаты укладываются в диапазоны погрешности измерений, что подтверждает минимальное влияние данного способа обеззараживания на интенсивность протекания дальнейших процессов замачивания и проращивания.

Подобные результаты были получены для определения массовой доли белка, %. Так, значения для контрольного образца зерна ячменя варьируется в диапазоне  $(11,3 \pm 0,5) \%$ , а для опытного образца зерна ячменя –  $(11,2 \pm 0,6) \%$ . Полученные результаты подтверждают возможность использования данного способа обеззараживания в технологии проращивания зерна ячменя.

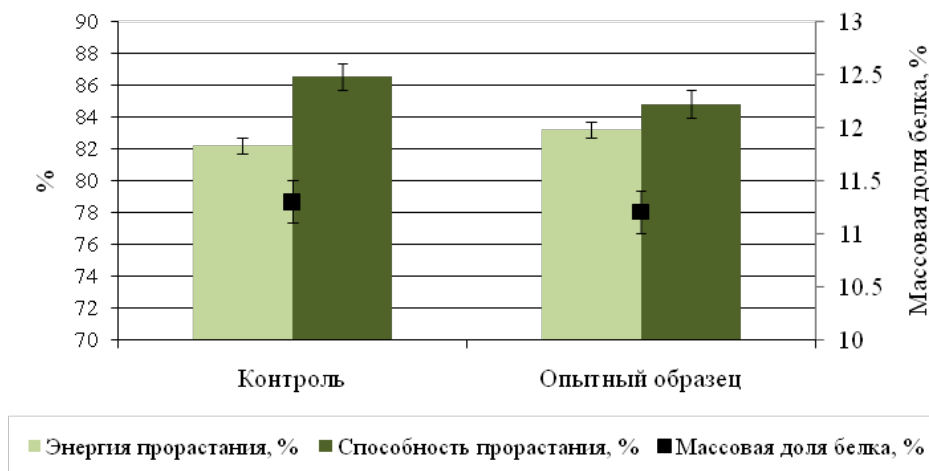


Рис. 3. Результаты определения влияния кратковременного воздействия высоких температур на интенсивность протекания процессов проращивания зерна ячменя

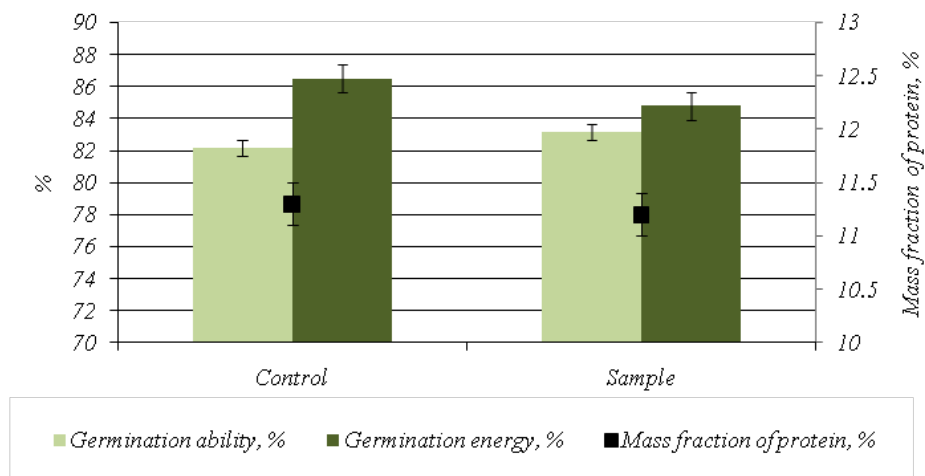


Fig. 3. Results of determining the influence of short-term exposure to high temperatures on the intensity of barley grain germination processes

В результате процесса проращивания становятся более мягкими оболочечные части зерна ячменя, инициируется синтез ряда ферментов, таких как  $\alpha$ -амилаза и  $\alpha$ -глюкозидаза, что приводит к частичному гидролизу крахмала до глюкозы, мальтозы и мальтотриозы [2]. Уменьшается количество нерастворимых пищевых волокон, что сопровождается увеличением количества растворимой клетчатки [5; 6]. Разрушение нерастворимых пищевых волокон может быть вызвано образованием  $\beta$ -галактозидаз, которые действуют на галактоманнан и образуют галактозы [5]. Также в процессе проращивания высвобождаются из алейронового слоя и щитка протеолитические ферменты эндопептидазы, что приводит к деградации запасных белков [2] и, как

следствие, к более высокой биодоступности белка по сравнению с мукой из исходного зерна. Наблюдается увеличение фенольных соединений и антиоксидантной активности пророщенного ячменя [8], что обусловлено синтезом флавоноидов и полифенолов.

На следующем этапе исследований была поставлена задача проанализировать зависимость интенсивности накопления полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности от продолжительности проращивания зерна ячменя. Результаты определения содержания полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности в динамике процесса проращивания (12, 24, 36 и 48 часов) представлены на рис. 4.

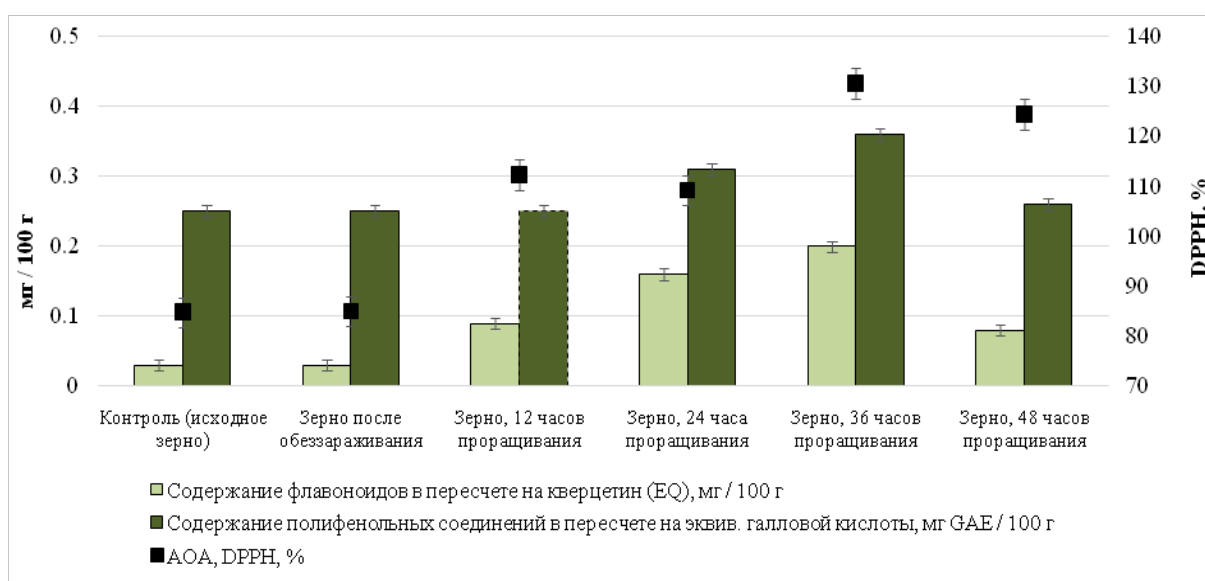


Рис. 4. Результаты определения содержания полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности в динамике процесса проращивания

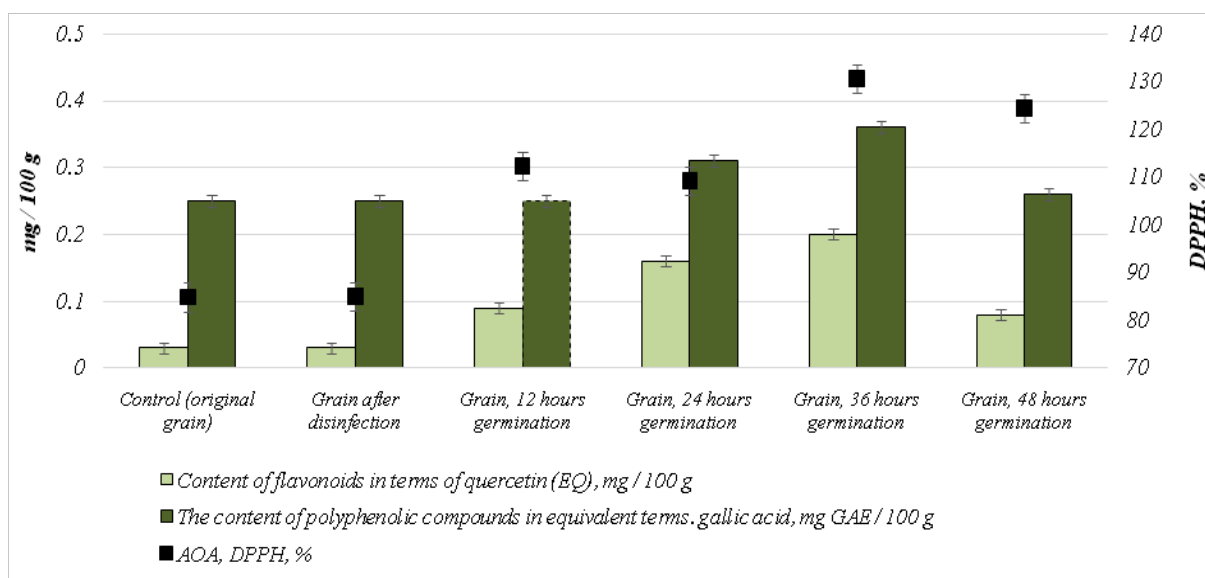


Fig. 4. Results of determining the content of polyphenols, flavonoids and total antioxidant activity in the dynamics of the germination process



Процесс обеззараживания не оказывает значительного влияния на антиоксидантные свойства зерна. Через 12 часов отмечается некоторое снижение содержания флавоноидов и полифенольных соединений, что может быть вызвано их частичным переходом в воду в процессе замачивания и активацией процесса проращивания. Наибольший прирост содержания полифенолов (в среднем на 145 %) и флавоноидов (в среднем в 6 раз) можно отметить через 36 часов проращивания, что также способствует максимальному увеличению антиоксидантной активности на данном промежутке времени (в среднем на 46 %), тогда как через 48 часов наблюдается падение вышеуказанных показателей. Аналогичная динамика (увеличение фенольных веществ и антиоксидантной активности в проросших злаковых культурах) описана в ряде исследований [16], где подчеркивается роль полифенольных соединений как веществ, защищающих зерно от стресса в процессе проращивания. При этом отмечается, что такой прирост максимален через 36 часов после начала проращивания ячменя, поскольку после этого начинается процесс лигнификации, приводящий к превращению фенольных соединений в лигнаны или лигнин [17].

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность и перспективность технологии проращивания зерна ячменя для дальнейшего получения безопасных сырьевых ингредиентов, обладающих антиоксидантными свойствами и способных оказывать положительное влияние на организм человека в долгосрочной перспективе. Используя

технологии обеззараживания, путем краткосрочного теплового воздействия (температура 190 °C и продолжительность 10 с) можно гарантировать исключение активации развития присутствующей микрофлоры зерна ячменя, в частности, плесневых грибов *A. flavus* или *A. Parasiticus*, наиболее характерных для данного вида зерновой культуры. А проведение дальнейших технологических этапов замачивания (при температуре  $20 \pm 2$  °C в течение 20 часов без доступа световых лучей) и проращивания (при температуре  $22 \pm 2$  °C и влажности воздуха  $95 \pm 3$  % в течение 36 часов) позволит увеличить общую антиоксидантную активности с средним на  $(46 \pm 4)$  %, содержания флавоноидов – на  $(560 \pm 15)$  %, полифенолов – на  $(145 \pm 14)$  %.

Вместе с тем для более глубокого понимания процессов проращивания зерна и получения пищевых продуктов на их основе необходимы дополнительные исследования, направленные на установление механизмов взаимодействия отдельных структурных элементов пищевой системы с сырьевыми ингредиентами из пророщенного зерна. Несомненно, для пищевой индустрии данное направление является перспективным и позволит получить линейку продуктов, обладающих рядом полезных для потребителя свойств. В качестве одного из перспективных направлений можно предложить частичную замену сортовой пшеничной муки в рецептуре хлебобулочных изделий мукой из пророщенного зерна ячменя с коррелирующим гранулометрическим составом, что позволит встраивать данное сырье в матрицу теста, активировать процесс брожения и получать готовый продукт высокого качества.

#### Библиографический список (References)

1. Amoah I., Cairncross C., Sturny A., Rush E. Towards improving the nutrition and health of the aged: The role of sprouted grains and encapsulation of bioactive compounds in functional bread – a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54: 1435–1447. DOI: 10.1111/ijfs.13934.
2. Lemmens E., Moroni A. V., Pagand J., Heirbaut P., Ritala A., Karlen Y., Lê K., Van den Broeck H. C., Brouns F. J. P. H., De Brier N., Delcour J. A. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019; 18: 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414.
3. Finnie S., Brovelli V., Nelson D. Sprouted grains as a food ingredient. *Sprouted grains* / H. Feng, B. Nemzer, J. W. DeVries (Eds.). AACC International Press, 2019. Pp. 113–142. DOI: 10.1016/B978-0-12-811525-1.00006-3.
4. Naumenko N., Fatkullin R., Popova N., Ruskina A., Kalinina I., Morozov R., Avdin V.V., Antonova A., Vasileva E. Effect of a Combination of Ultrasonic Germination and Fermentation Processes on the Antioxidant Activity and  $\gamma$ -Aminobutyric Acid Content of Food Ingredients // *Fermentation*. 2023; 9: 246. DOI: 10.3390/fermentation9030246.
5. Perri G., Minisci A., Montemurro M., Pontonio E., Verni M., Rizzello C. G. Exploitation of sprouted barley grains and flour through sourdough fermentation. *LWT*. 2023; 187: 115326. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115326.
6. Franco W., Evert K., Van Nieuwenhove, C. Quinoa Flour, the Germinated Grain Flour, and Sourdough as Alternative Sources for Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Chemical, Textural and Sensorial Characteristics. *Fermentation*. 2021; 7: 115. DOI: 10.3390/fermentation7030115.
7. Sun Y., Mehmood A., Battino M., Xiao J., Chen X. Enrichment of gamma-aminobutyric acid in foods: From conventional methods to innovative technologies. *Food Research International*. 2022; 162 A: 111801. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111801.

8. RASFF – Food and Feed Safety Alerts [Internet]. [cited 2023 Nov 03]. Available from: [http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/rasff\\_publications\\_en.htm](http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/rasff_publications_en.htm).
9. Łątka K., Jończyk J., Bajda M.  $\gamma$ -Aminobutyric acid transporters as relevant biological target: Their function, structure, inhibitors and role in the therapy of different diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 158: 750–772.
10. Ding J., Johnson J., Chu Y. F., Feng H. Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa L.*) treated with and without power ultrasound. *Food Chemistry*. 2019; 283: 239–247.
11. Zhang J., Deng H., Bai J., Zhou X., Zhao Y., Zhu Y., McClements D. J., Xiao X., Sun Q. Health-promoting properties of barley: A review of nutrient and nutraceutical composition, functionality, bioprocessing, and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. DOI: 10.1080/10408398.2021.1972926.
12. Sharma R., Mokhtari S., Jafari S.M., Sharma S. Barley-based probiotic food mixture: Health effects and future prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. DOI: 10.1080/10408398.2021.1921692.
13. AACC International Approved methods of analysis. 11th ed. [Internet]. St. Paul, MN, USA: AACC International, 2010 [cited 2023 Sep 10]. Available from: <https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/default.aspx>.
14. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and  $\gamma$ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum L.* by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106000 11.
15. Babaei-Ghaghelestany A., Alebrahim M. T., MacGregor D. R., Khatami S. A., Hasani Nasab Farzaneh R. Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Food Science & Nutrition*. 2020; 8 (6): 2662–2669.
16. Madhu B., Srinivas M. S., Srinivas G., Jain S. Ultrasonic technology and its applications in quality control, processing and preservation of food: A review. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2019; 32 (5). DOI: 10.9734/CJAST/2019/46909.
17. Tiozon Jr. R. N., Camacho D. H., Bonto A. P., Oyong G. G., Sreenivasulu N. Efficient fortification of folic acid in rice through ultrasonic treatment and absorption. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127629.

**Об авторах:**

**Наталья Владимировна Науменко**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-9520-3251, AuthorID 624622. *E-mail: naumenkonv@susu.ru*

**Ринат Ильгидарович Фаткуллин**, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-1498-0703, AuthorID 776685. *E-mail: fatkullinri@susu.ru*

**Ольга Петровна Неверова**, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: opneverova@mail.ru*

**Ирина Валерьевна Калинина**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-6246-9870, AuthorID 220975

**Authors' information:**

**Natalya V. Naumenko**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, associate professor, associate professor of the food and biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-9520-3251, AuthorID 624622. *E-mail: naumenkonv@susu.ru*

**Rinat I. Fatkullin**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the food and biotechnology department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-1498-0703, AuthorID 776685. *E-mail: fatkullinri@susu.ru*

**Olga P. Neverova**<sup>2</sup>, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: opneverova@mail.ru*

**Irina V. Kalinina**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the food and biotechnology department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-6246-9870, AuthorID 220975